



现代

钢带连续热镀锌

张启富 刘邦津 黄建中 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

现代 钢带连续热镀锌

张启富 刘邦津 黄建中 编著

北京

冶金工业出版社

2007

内 容 简 介

本书全面阐述了现代钢带连续热镀锌基础理论、生产工艺、产品、装备等先进技术。主要内容包括钢带连续热镀锌技术的发展历程和最新进展；镀锌钢板的耐蚀性原理、钢带连续热镀锌理论和镀层厚度、结构及性能的影响因素；连续热镀锌用基板、热镀锌基板的清洗技术，热镀锌机组的连续退火技术，热镀锌过程中的热镀锌锅、加热方式、锌锅装置及操作。重点介绍了汽车用涂镀层钢板及合金化镀锌理论的研究、热镀锌合金镀层材料的开发、合金化处理装置及镀层合金化控制技术的研究热点，以及热轧钢带和单面钢带连续热镀锌的工艺和特点，钢带热镀锌的后处理，包括冷却、锌花处理、光整、拉矫、涂油、钝化、磷化、涂装等。此外，还详述了钢带连续热镀锌机组的主要机械设备、环保和“三废”处理以及热镀锌钢板的性能检验、缺陷分析和工艺模拟装置。附录中还介绍了国内外镀锌板质量检测的标准和国内主要钢铁企业建设的连续热镀锌机组情况。

本书可供从事钢铁产品深加工、热镀锌钢带（板）生产和应用的科研、决策、管理、技术人员，科研设计单位工程技术人员，高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代钢带连续热镀锌/张启富等编著. —北京：冶金工业出版社，2007. 1

ISBN 978-7-5024-4190-6

I. 现… II. 张… III. 带钢—热浸锌 IV. TG174. 443

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 158663 号

出版人 曹胜利（北京沙滩嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009）

责任编辑 李梅 美术编辑 李心

责任校对 刘倩 李文彦 责任印制 牛晓波

北京兴华印刷厂印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

2007 年 1 月第 1 版，2007 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16；72.75 印张；2 彩页；1778 千字；1138 页；1-4000 册

228.00 元

冶金工业出版社发行部 电话：(010)64044283 传真：(010)64027893

冶金书店 地址：北京东四西大街 46 号(100711) 电话：(010)65289081

（本社图书如有印装质量问题，本社发行部负责退换）

序

热镀锌钢板是钢铁材料防止大气腐蚀效果显著、成本低廉、品种繁多、应用广泛、历史悠久的一种镀层产品。

热镀锌钢板广泛应用于国民经济建设的各个领域和部门，尤其是建筑业、汽车业和电器业三个部门是镀锌钢板的主要应用市场。目前国内外在这三个部门热镀锌钢板消费量占其总量的80%以上。

热镀锌技术已有200余年历史，而钢带连续热镀锌技术始于20世纪30年代初。在随后的几十年里，连续热镀锌工艺不断创新、设备不断更新、产品不断出新、应用不断扩展、规模不断增大、产量不断增加，至21世纪初全世界钢带连续热镀锌生产线约为500条，设计年生产能力逾亿吨。

我国热镀锌技术起步于20世纪70年代末，初期发展较缓慢，在改革开放以后，随着国民经济的高速发展，基本建设空前兴旺，汽车制造业和家电行业飞速发展，汽车、家电年产值居世界前茅，这就促成了我国热镀锌钢板强劲市场的形成，我国钢带连续热镀锌技术以前所未有的速度发展，到2005年全国钢带连续热镀锌生产线达百余条，年生产能力达到千万吨以上，约占粗钢生产总量的5%。

随着社会的发展，环保要求日益严格，可持续发展已成为我国发展的战略。在此背景下，作为耐蚀材料、节材节能、高效材料的热镀锌钢板必然存在巨大的发展空间并扮演重要角色。随着人们科学发展观的建立，科学自主创新体系的完善，热镀锌技术和产品的

创新之花必将在我国大地上绚丽绽放，热镀锌技术蓬勃发展也将为我国建筑、汽车、电器等行业的发展做出贡献。

在钢带连续热镀锌技术蓬勃发展的浪潮中，人们学习热镀锌新技术的要求也日益高涨，热切希望一本内容丰富，论点正确，既有理论知识，又有实践经验，既含国外先进技术，又含国内发展现状，既涉及机组设计技术，又涵盖生产运行技术的关于钢带连续热镀锌技术方面的著作出版，本书编著者努力进行了尝试，并取得较好效果。

钢铁研究总院是我国钢带连续热镀锌技术的研发基地，在“六五”、“七五”计划国家课题攻关的基础上，这些年先后协助全国众多企业设计建造了大小钢带连续热镀锌机组40余条。本书编著者均为该研究院从事钢带涂镀材料研究的科研人员，具有丰富的实践经验。

我将此书推荐给相关冶金工程技术人员、高等院校相关专业的教师和学生以及建筑业、汽车业、电器业等相关工程人员，相信大家将从书中获益。

中国工程院化工、冶金与材料工程学部主任

中国工程院院士

2006年10月

前 言

进入 21 世纪,我国正在由钢铁大国向钢铁强国迈进。调整产业结构,发展深加工、高附加值产品。提高产品的竞争力是我国钢铁工业的发展方向。深受市场青睐的热镀锌钢板等涂镀层产品是我国目前大力发展的钢材品种之一。热镀锌钢板以其优良的耐腐蚀性和良好的成形、焊接、涂漆等综合性能,作为高效节能钢材品种,得到广泛的应用。

热镀锌钢板作为高附加值产品和高效节材产品是增长最快的一类钢材品种,它在钢材品种中所占比例逐年提高,在美国、日本等钢材生产大国中,镀锌钢板在钢材中所占比例已高达 13%~15%,其中 70% 为热镀锌钢板。我国目前热镀锌钢板仅占钢材总产量的 5% 左右,具有很大的发展潜力。

热镀锌钢板主要应用于建筑、汽车和家电行业。20 世纪 90 年代,日本热镀锌钢板的应用比例为:建筑业 36%,汽车业 33%,家电业 16.5%;欧共体和美国为:汽车业 42%,建筑业 31%,家电业 25%。热镀锌钢板的广泛应用促进了钢带热镀锌生产的快速发展,目前全世界宽带钢镀锌连续机组 500 余条,产量已超过 1 亿 t。

我国钢带连续热镀锌起步较晚,但发展迅速。1979 年武钢引进西德钢带连续热镀锌机组和技术,开始了我国钢带连续热镀锌的历史。20 世纪 90 年代,国内大型钢铁企业相继引进一批国外先进的钢带连续热镀锌机组,使我国的热镀锌钢板的生产技术水平和产量得到极大提高。随着我国国民经济的高速发展,特别是近 10 年,我国建筑业以前所未有的速度发展;汽车制造业已成为我国支柱产业,家电产品产量跃居世界前列,这为热镀锌钢板提供了广阔的市场和应用空间。市场对热镀锌钢板的需求急剧增长,使我国的热镀锌钢板的生产进入高速发展期。

在钢带热镀锌技术快速发展、热镀锌钢板应用迅速扩大的形势下,无论是热镀锌钢板的生产者还是使用者,都急切盼望一本有理论、有实践、系统全面介绍热镀锌钢板生产技术、应用知识及其近期新发展的书。本书试图满足读者对有关钢带连续热镀锌技术多方面、多层次了解的要求。

本书的资料积累、构思及写作经历了将近 10 年的时间。

1996 年 10 月,由钢铁研究总院负责设计的年产 10 万 t、1000mm 宽钢带连续热镀锌-硅和镀锌两用机组在湖北黄石建成投产。这是我国自主设计开发

的第一条宽钢带连续热镀锌国产化机组，这条国产化机组的成功投产标志着我国已经具有自主设计建设宽钢带连续热镀锌生产线的能力。通过参加这条生产线的设计和建设，本人对钢带连续热镀锌技术有了较深刻的认识。但当时，受国际、国内经济形势的影响，全国钢铁行业普遍不景气，为了寻求发展，开拓思路，1998年本人随钢铁研究总院杨树森副院长到英国、加拿大、美国考察。在考察中，我发现在国外现代化的城市中，机场、体育场馆、工厂厂房、民用住宅等建筑色彩斑斓，这些建筑绝大部分采用的是彩色涂层钢板做屋面板、夹心板、瓦楞板和衬板等建筑材料，而彩色涂层钢板的基板就是镀锌板；汽车行业大量采用镀锌钢板，有的轿车已是整车采用镀锌钢板和镀锌钢结构件；家电行业采用钢板和钢结构件的地方几乎都要镀锌。而我国国内的建筑当时还是钢筋混凝土结构，镀锌钢板和彩涂板使用量很少；在家电、汽车行业，我国的热镀锌钢板和彩涂板品种还是空白。1997年，我国的镀锌钢板产量仅为86.7万t，表观消费量为164.3万t，自给率仅为52.8%；彩涂板产量仅为15.6万t，表观消费量为56.9万t，自给率仅为27.4%。而此时全世界镀锌钢板年产能已达8000万t，彩涂板年产能达1000万t以上。我体会到我国的钢带连续热镀锌和彩涂钢板技术与国外的差距太大了，钢带涂镀层技术的研究和工程化应是国家大力发展的领域。

自此，我萌生了写作一本综合反映国内外钢带连续热镀锌和彩涂钢板技术发展动态图书的想法，希望为促进我国钢带涂镀技术的进步和工程转化尽一些绵薄之力。

从1996年至今，钢铁研究总院已承担1000mm宽以上的钢带连续热镀锌、钢带连续彩涂生产线20余条，这些生产线的设计和建设使我们积累了大量第一手技术资料，并获得了丰富的现场工程经验。1989年，由钢铁研究总院等单位发起组建了“中国腐蚀与防护学会热镀锌专业委员会”，使我有机会和国际锌协会、国际铅锌组织、一些国家镀锌组织和国际知名涂镀研究机构进行合作和交流，了解到国际镀锌和涂镀技术最新的发展动态。经过几年的资料收集、整理和编写，2002年完成了初稿，基本反映了国内外在钢带连续热镀锌领域的研究成果，包含了国内外从业人员近百年的实践经验，以及钢铁研究总院20余年科研和工程转化的丰富经验。然而，进入21世纪后，国内外钢带连续热镀锌技术发展突飞猛进，并且，我们承接钢带连续热镀锌工程也不断增多，吸收的新技术和积累的经验日益丰富，在这种情况下，我对初稿又进行了补充和修改，增补了国际最新镀锌资料，力求反映国内外钢带连续热镀锌技术的最新进展；同时，还先后于2002年、2005年和2006年邀请国内知名腐蚀和热镀锌专家刘邦津、黄建中、周俊麒参加编写并对修改稿进行了审

阅和修改，他们也提出了很多非常宝贵的意见，使全书的结构更加合理，内容更加充实并贴近实际生产。在各位同仁的帮助下，听取了多方面的意见，并结合本书的特点，经过多次反复修改，终于完成终稿。2004年，本书获得国家科学技术学术著作出版基金资助。

本书在写作中力求做到以下几点：第一，技术先进。本书收录了国内外截至2006年底的最新技术资料，充分体现了现代钢带连续热镀锌新技术、新工艺、新装备和新品种，如对机组大型化、高速化、专业化、高度自动化技术以及新型炉型、锌锅、气刀、锌液检测等装备的最新进展进行介绍。第二，全面系统。本书既包括基本腐蚀原理、热镀锌理论、热镀锌层结构和性能的影响因素等基本原理的介绍，也包括对热镀锌用原板及清洗、连续退火技术及热镀锌锅、热镀锌装置等镀锌基本工艺的阐述，还分别叙述了各类锌合金钢板、合金化镀锌钢板及热轧和单面镀锌钢板的生产实践，以及镀锌后处理、性能检验、环保等辅助工艺。附录中列出了国内外相关镀锌钢板标准和我国主要钢铁企业钢带连续热镀锌机组情况，同时还在文后附有部分关键设备的彩图，尽量为广大读者提供最详实而生动的资料。第三，重点突出。本书特别对代表现代钢带热镀锌最新成就的汽车用镀锌涂镀层钢板技术和合金化镀锌理论与实践进行了详细叙述，以便为我国钢带连续热镀锌工业在自主创新方面尽快赶上国际水平提供有力的支持。

全书共分18章。第1、2、5、6、14章由张启富、黄建中、刘邦津编写，第3、4、8、9、12、13、15、17、18章由张启富、刘邦津编写，第7、16章由张启富、周俊麒、黄建中编写，第10、11章由张启富、刘邦津、黄建中编写，附录1和附录2由仲海峰、郝晓东、程东妹、江社明翻译和编写。黄建中担任总审校。

感谢刘邦津教授生前为本书所做的贡献。刘教授是我国知名的热浸镀专家，他无私地贡献出多年从事热浸镀技术研究的许多宝贵资料。他谦和的人品，虚怀若谷的胸怀，精湛的学术造诣，永留人们的记忆中。

钢铁研究总院王云爱、刘忠诚、辛农、李敏为本书第7章提供了部分参考资料，习中革、齐慧军为本书第16章提供了部分参考资料，表示感谢！

感谢钢铁研究总院院长、中国工程院化工、冶金与材料工程学部主任于勇院士对本书的完成给予的关怀和支持，并在百忙中为本书作序。

感谢钢铁研究总院名誉院长殷瑞钰院士、原钢铁研究总院副院长黄曼云教授、杨树森教授对本书给予的指导。

感谢中国金属学会理事长翁宇庆教授给予的帮助和支持。

感谢中国腐蚀与防护学会原理事长、中国工程院柯伟院士的指导。

感谢钢铁研究总院赵沛副院长，田志凌副院长对本书的指导和支持。感谢俞

钢强教授、潘家冰教授、周方教授、张岩、张慧、蒋伯群、刘灿楼、顾宝珊、王海林、周卫东、刘锡荣、毛永勤、廖政中高工等对本书提出的宝贵意见和帮助。

钢铁研究总院从事钢带连续热镀锌、钢带连续彩涂技术研发和工程转化 20 余年,形成了一支老、中、青三代结合的技术专家队伍,并积累了丰富的技术和工程经验,这本书也是大家共同智慧的结晶。感谢我们这支队伍的每位同仁。

感谢国内镀锌专家张广宏教授、袁明生教授、李九岭教授和陈冬教授对本书提出的宝贵意见。

感谢加拿大 Tech Comico 公司产品技术中心的唐乃泳教授、刘一辉博士,他们提供了美国镀锌协会数年的会议论文集及几届锌和锌合金涂层钢带国际会议的论文集,为本书提供了宝贵的参考资料。

感谢济南钢铁集团总公司李长顺总经理、通化钢铁集团公司安凤臣董事长、唐山恒通集团梁士臣总经理以及黄石银龙镀铝薄板有限公司李春洪总经理,正是他们以企业家的远见卓识积极推进重大装备的自主创新和国产化,才使我们有机会将钢带连续热镀锌的国产化技术和装备得以应用,使热镀锌成套生产线在祖国的大地上耸立,为我国的民族工业写下浓重的一笔。

感谢冶金工业出版社杨传福总编辑和李梅编辑,他们严谨务实认真的工作和对此书一贯的关心和支持,使本书终于出版。

在这近 10 年期间,我把繁重的业务管理、工程推广和课题研究以外的全部业余时间都投入到书稿的写作中,而无暇顾及及其他,我衷心感谢我的夫人谢曼女士对我的一贯支持和帮助,她还为本书做了大量文字和图表的处理工作。

希望本书能为我国钢带热镀锌工程技术人员、操作管理人员和高等院校相关专业师生提供帮助,为我国的热镀锌技术发展起到促进作用。另外,根据广大读者的要求和我国彩涂钢板技术发展的需要,我和黄建中教授还合作编写了《有机涂层钢板》一书,于 2003 年出版,应该说,《有机涂层钢板》的出版,是对钢带连续热镀锌产品后续深加工的重要补充。

钢带连续热镀锌技术涉及到金属材料学、金属腐蚀学、机械学、冶金学、物理化学、表面化学、热力学、电工学等诸多学科,受编著者的专业知识所限,书中的论述未必完备,难免有不妥之处,尚祈读者不吝赐教。

谨以此书献给为我国重大装备的自主创新和国产化及民族工业的发展而不懈努力的人们!

张启富

2006 年 10 月 8 日

于钢铁研究总院

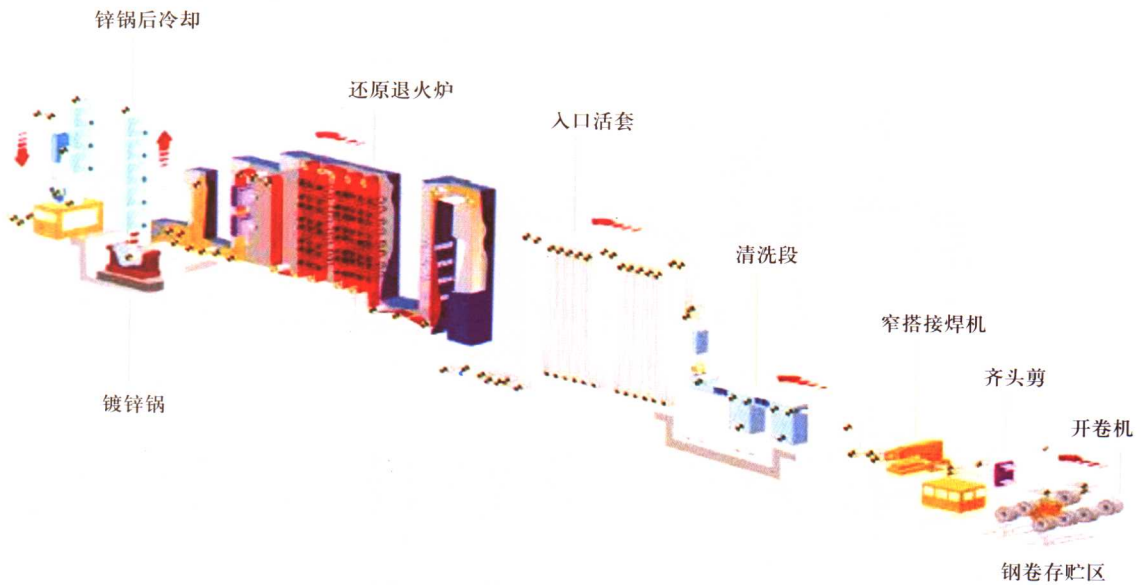


图 1-13 奥地利 Voestalpine 工厂 2003 年 10 月 1 日投产的美钢联法汽车板热镀锌生产线

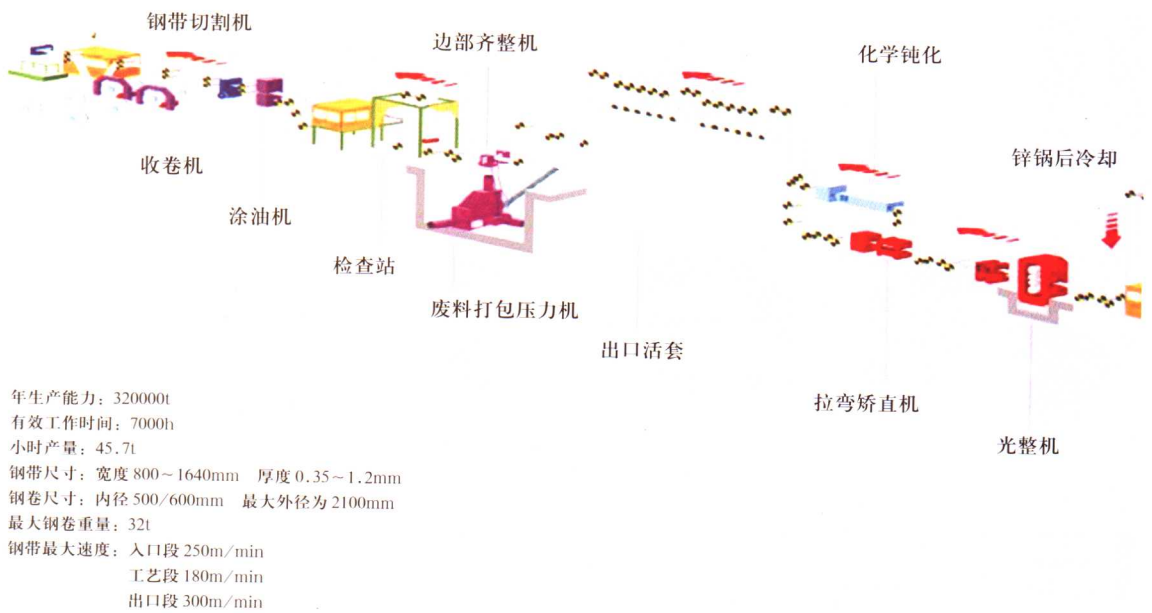


图 1-14 奥地利 Voestalpine 工厂 2003 年 10 月 1 日投产的美钢联法汽车板热镀锌生产线 (续图 1-13)



图 1-15 开卷机



图 1-16 焊机和清洗段



图 1-17 清洗段



图 1-18 还原退火炉



图 1-19 气刀和锌锅



图 1-20 光整机



图 1-21 卷取机



图 1-22 主控室

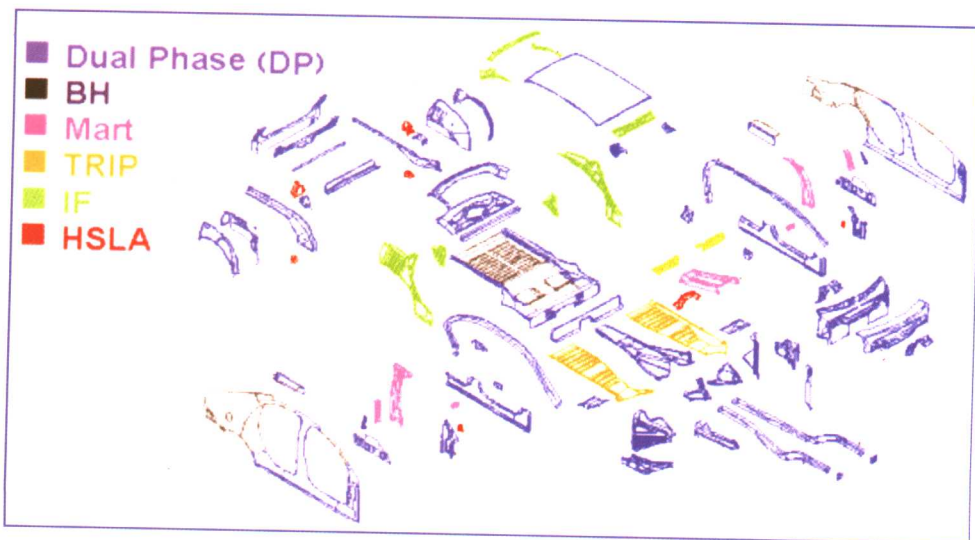


图 1-25 各类高强度钢在小轿车上使用的部位情况

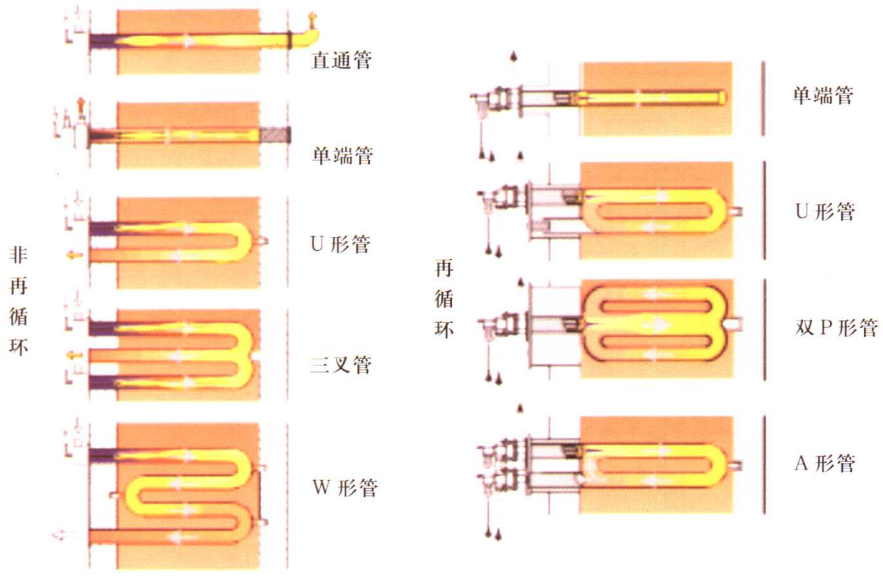


图 7-40 再循环和非再循环辅射管

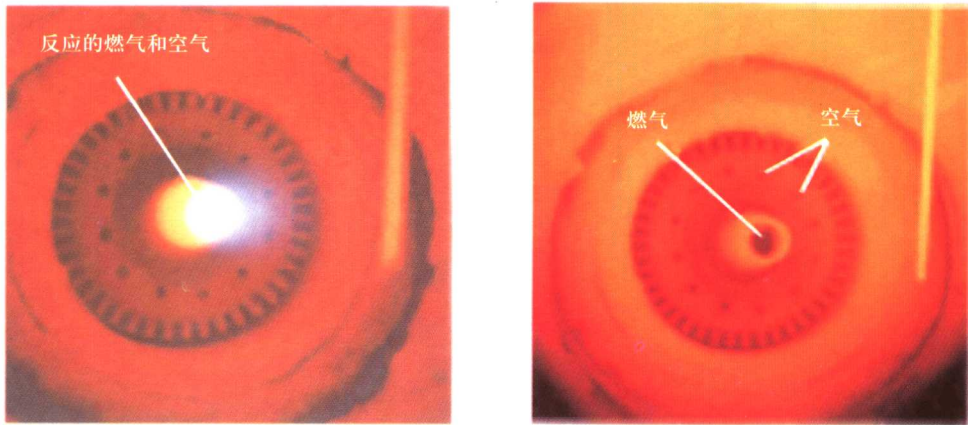


图 7-49 火焰 (FLAME) 和无焰氧化 (FLOX[®])同流换热燃烧嘴

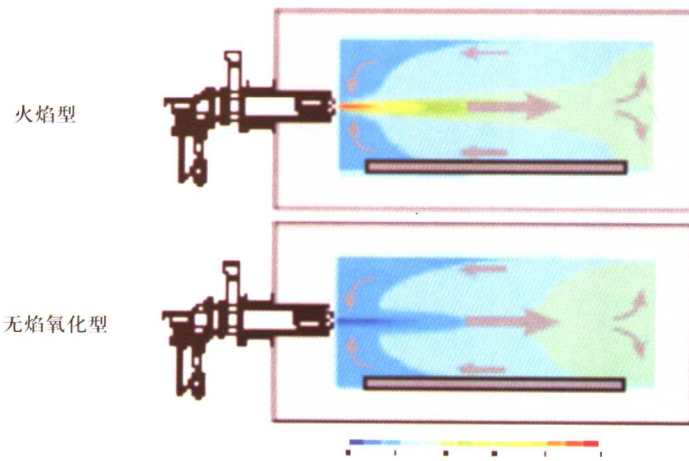


图 7-50 相对于火焰型和 FLOX[®]型的计算温度

目 录

1 绪论	1	2 镀锌钢板耐蚀性原理	56
1.1 引言	1	2.1 腐蚀的基本概念.....	56
1.1.1 钢带连续热镀锌的概念	1	2.2 电化学腐蚀基础.....	57
1.1.2 热镀锌钢板的用途和 消费结构	2	2.2.1 电化学基本概念	57
1.1.3 世界镀锌钢板的产量及 分布情况	3	2.2.2 金属腐蚀的电极过程.....	64
1.1.4 中国热镀锌钢板的产量 及分布情况	4	2.3 钢铁材料的大气腐蚀.....	66
1.2 钢带连续热镀锌的发展	7	2.3.1 钢材表面电解液膜的形成 ...	66
1.2.1 世界钢带连续热镀锌 发展历程	7	2.3.2 钢材大气腐蚀过程特点	67
1.2.2 我国钢带连续热镀锌的 发展	11	2.3.3 影响钢材腐蚀的主要 因素	67
1.2.3 我国热镀锌钢板生产和 市场存在的问题.....	13	2.4 金属锌的大气腐蚀.....	73
1.3 钢带连续热镀锌的分类.....	15	2.4.1 锌的化学氧化腐蚀.....	74
1.3.1 按工艺特点分类.....	15	2.4.2 锌的电化学腐蚀.....	74
1.3.2 按镀锌基板分类.....	32	2.4.3 锌的大气腐蚀数据.....	74
1.3.3 按镀层分类	35	2.5 锌及其合金镀层钢板耐蚀 性能	77
1.4 钢带连续热镀锌技术的 新进展	38	2.5.1 镀锌钢板的耐蚀性.....	77
1.4.1 钢带连续热镀锌工艺 的进步	38	2.5.2 锌合金镀层钢板耐蚀性	79
1.4.2 热镀锌设备的新发展.....	42	参考文献	86
1.4.3 新镀层材料钢板开发 的进展	45	3 钢带连续热镀锌理论	87
1.4.4 钢带连续热镀锌技术 进步的实例	47	3.1 引言	87
1.4.5 目前钢带连续热镀锌 技术发展的热点.....	49	3.2 锌液对钢基体的浸润性.....	87
参考文献	53	3.2.1 沸腾钢的浸润性.....	87
		3.2.2 铝镇静钢的浸润性.....	89
		3.2.3 硅镇静钢的浸润性.....	92
		3.3 钢带表面铁原子的溶解.....	98
		3.3.1 锌液中铁含量的影响	98
		3.3.2 锌液中铝含量的影响	98
		3.3.3 浸镀时间的影响.....	98
		3.3.4 钢板入锅温度的影响	99
		3.3.5 热镀锌操作条件下铁	

反应量的计算·····	99	4.4.9 稀土金属的影响·····	132
3.4 合金层的形成和生长·····	101	4.4.10 镍的影响·····	134
3.4.1 热镀纯锌过程·····	101	4.4.11 锰的影响·····	135
3.4.2 热镀锌-铝过程·····	103	4.4.12 钛的影响·····	135
3.5 钢带连续热镀锌过程中锌液中		4.4.13 多种元素的复合影响·····	135
铝的添加量·····	109	4.5 钢带表面状态对热镀锌	
3.5.1 锌渣中铝的分配·····	109	的影响·····	138
3.5.2 锌液中铝含量对渣形成		4.5.1 钢带表面粗糙度的影响·····	138
量的影响·····	110	4.5.2 钢带轧制所用乳化液	
3.5.3 锌液中加入铝量的计算·····	111	的影响·····	138
参考文献·····	113	4.5.3 酸洗状况的影响·····	139
4 热镀锌层厚度、结构和性能的		参考文献·····	139
影响因素·····	114	5 热镀锌用原板·····	141
4.1 镀锌层的结构和特性·····	114	5.1 传统低碳钢·····	141
4.1.1 纯锌镀层·····	114	5.1.1 化学成分与性能·····	141
4.1.2 锌-铝合金镀层·····	115	5.1.2 原板的生产工艺·····	144
4.2 锌液温度与浸镀时间的影响·····	116	5.2 无间隙原子(IF)钢·····	153
4.2.1 锌液温度的影响·····	116	5.2.1 原理·····	153
4.2.2 浸镀时间的影响·····	118	5.2.2 化学成分性能及生产	
4.3 钢基体中各元素对热镀锌		工艺·····	155
的影响·····	119	5.2.3 高强度IF钢·····	156
4.3.1 碳的影响·····	119	5.3 高强度钢·····	159
4.3.2 硅的影响·····	120	5.3.1 高强度钢板的发展·····	159
4.3.3 铜的影响·····	125	5.3.2 固溶强化型高强度钢·····	160
4.3.4 锰、磷、硫的影响·····	126	5.3.3 烘烤硬化型(BH)钢	
4.3.5 铝的影响·····	126	及热处理强化型钢·····	161
4.3.6 镍、铬的影响·····	126	5.3.4 组织强化型高强度钢	
4.3.7 钛的影响·····	126	(先进高强度钢)·····	162
4.4 锌液中各种元素对热镀锌		5.4 热轧钢板·····	168
的影响·····	127	5.5 热镀锌对原板的质量要求·····	170
4.4.1 铁的影响·····	127	参考文献·····	171
4.4.2 铅的影响·····	127	6 热镀锌基板的清洗·····	173
4.4.3 锡的影响·····	128	6.1 概述·····	173
4.4.4 锑的影响·····	129	6.2 钢带清洗的基础理论·····	173
4.4.5 铜的影响·····	129	6.2.1 冷轧钢带污物类型及其	
4.4.6 镉的影响·····	129	存在形态·····	173
4.4.7 镁的影响·····	131	6.2.2 清洗剂组成·····	174
4.4.8 铋的影响·····	132		

6.2.3 钢带清洗原理	178	清洗新装置	217
6.3 清洗溶液的性能	181	参考文献	222
6.3.1 皂化作用	182	7 热镀锌生产线钢带的连续退火	223
6.3.2 乳化作用	182	7.1 概述	223
6.3.3 高导电性	183	7.1.1 引言	223
6.3.4 泡沫的形成和控制	184	7.1.2 钢带连续退火工艺曲线 的制订	224
6.3.5 浸润能力	185	7.1.3 热镀锌机组退火方式及 炉型选择	229
6.3.6 稳定性	186	7.2 退火炉构造与功能	238
6.3.7 洗涤能力	186	7.2.1 预热炉(段)	238
6.4 液体和固体污物的清洗	187	7.2.2 加热还原炉	246
6.4.1 液体油污的清洗	187	7.2.3 冷却炉	253
6.4.2 固体污物的清洗	190	7.2.4 辐射管	262
6.5 碱洗脱脂机理和清洗 过程控制	191	7.3 退火炉燃烧系统	271
6.6 钢带清洗的主要形式	196	7.3.1 改良森吉米尔法退火炉 燃烧系统	271
6.7 钢带的刷洗工艺及设备	197	7.3.2 美钢联法退火炉燃烧 系统	276
6.8 钢带电解清洗工艺及设备	199	7.4 燃气和保护气体	279
6.8.1 高电流密度电解清洗	199	7.4.1 气体燃料种类	279
6.8.2 电解清洗设备	202	7.4.2 燃烧方式	283
6.8.3 电解清洗工艺特点	203	7.4.3 燃烧气体的计算	285
6.9 清洗工艺对清洗质量的影响	205	7.4.4 气体燃料的选择	290
6.9.1 清洗液工作条件对钢带 表面残留物的影响	205	7.4.5 保护气体的制造	290
6.9.2 漂洗条件对钢带表面 残留物的影响	205	7.4.6 保护气体的成分和控制	301
6.9.3 喷嘴的选择	205	7.5 还原退火炉工艺参数检测与 控制	304
6.9.4 刷辊的选择	206	7.5.1 炉温检测与控制	304
6.9.5 挤干辊的选择	206	7.5.2 钢带温度检测与控制	311
6.9.6 清洗设备的在线控制	206	7.5.3 燃气系统检测及控制	315
6.10 钢带清洗缺陷及清洗清洁度 的检验	206	7.5.4 助燃空气系统检测 及控制	315
6.11 典型热浸镀钢带生产线 清洗段	210	7.5.5 烟气系统检测及控制	315
6.11.1 钢铁研究总院设计某 镀锌线的清洗段	210	7.5.6 炉压控制系统	316
6.11.2 南方某公司引进热镀锌 机组高电流密度(HCD) 清洗段	215	7.5.7 炉内露点测量与控制	317
6.11.3 日本 Hotani Shoji 公司钢带 清洗新装置	217	7.5.8 炉内氧气和氢气的测定	320
		7.6 退火炉的安全与事故处理	323

7.6.1 退火炉的爆炸隐患	323	参考文献	378
7.6.2 开炉时的安全措施	323	9 热镀锌装置及锌锅操作	379
7.6.3 停炉时的安全措施	324	9.1 概述	379
7.6.4 冷却段的安全措施	324	9.2 沉没辊和稳定辊	380
7.7 镀锌退火炉的节能技术和		9.2.1 沉没辊	380
热能的充分利用	324	9.2.2 稳定辊	382
7.7.1 改良森吉米尔法退火炉的		9.2.3 沉没件腐蚀和磨损	
节能技术及效果	324	问题	382
7.7.2 美钢联法退火炉的节能		9.3 气刀	384
技术及效果	332	9.3.1 概述	384
7.7.3 辐射管蓄热式燃烧技术在		9.3.2 气刀结构	384
镀锌线退火炉上的应用	332	9.3.3 气刀擦拭法对镀层厚度的	
7.8 现代热镀锌连续退火炉的		影响因素	386
一些特点	334	9.3.4 气刀调节参数	389
7.8.1 炉内钢带张力分布		9.3.5 吹气擦拭的极限特性	391
更趋合理	334	9.3.6 典型气刀系统的设备	
7.8.2 在冷却段后、炉鼻前设立		结构	394
均衡段	335	9.3.7 镀锌层的边部控制	396
7.8.3 炉内钢带质量保证		9.3.8 在线镀层厚度的测量	399
新技术	335	9.3.9 镀层重量的自动调节	403
7.8.4 采用轻型炉内衬结构	338	9.3.10 镀层控制系统数模	
7.8.5 辐射管的进步	339	设计	408
参考文献	339	9.3.11 气刀擦拭装置的新	
8 热镀锌锅及其加热方式	341	进展	413
8.1 概述	341	9.4 锌锅操作	422
8.2 金属锌锅	342	9.4.1 锌锅工艺参数的控制	422
8.2.1 铁制锌锅的材质及		9.4.2 锌锅中加锌	426
结构	342	9.4.3 锌锅中加铝	427
8.2.2 铁制锌锅的加热	344	9.4.4 锌锅中的有效铝及测定	432
8.2.3 铁制锌锅的使用寿命	346	9.4.5 锌渣的形成和底渣操作	435
8.3 陶瓷锌锅	353	9.5 锌锅内锌液流动模拟	445
8.3.1 上加热陶瓷锌锅	353	参考文献	447
8.3.2 内加热陶瓷锌锅	354	10 汽车用涂镀层钢板及合金化	
8.3.3 感应加热陶瓷锌锅	359	镀锌理论	450
8.4 热镀锌锅的新进展	370	10.1 汽车制造用钢板	450
8.4.1 电磁移动场磁流体		10.1.1 汽车制造对钢板的要求	450
封闭式锌锅	370	10.1.2 汽车用钢板的分类	451
8.4.2 锌垫浮动式镀锌锅	375		